

**Ю.В. НАУМЕНКО**, докт. техн. наук, доц., НУВХП, г. Ривне

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ ВНЕШНЕКАМЕРНОГО МНОГОСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦАХ**

Розглянуто задачу вибору режимів руху внутрішньокамерного завантаження барабаних млинів на основі концепції енергетичної селективності дезінтеграції. Прийнято безрозмірні комплексні критерії для оцінки продуктивності та енергетичної ефективності робочого процесу. Встановлено раціональні технологічні та конструктивні параметри млинів при реалізації зовнішньокамерної багатостадійності подрібнення.

The problem of a ball-tube intramill filling flow determination on the basis of disintegration energy selectivity conception is considered. The integral dimensionless criterions are used for grinding capacity and energy efficiency examination. The best process and design variables for multistage extrachamber milling effect are established.

Основным оборудованием многотоннажного тонкого измельчения материалов остаются традиционные барабанные мельницы. Радикально повысить чрезвычайно низкую эффективность измельчения в них можно лишь на основе принципа энергетической селективности измельчения. Применение такого подхода предполагает установление рациональных режимов движения внутрикамерной загрузки, как основного рабочего органа мельницы.

Существующие методы расчета барабанных мельниц основываются на концепции изолированного от окружающей среды отдельного элемента загрузки камеры, который движется под действием лишь массовых сил тяжести и центробежных сил инерции, а также реакции ограничивающей поверхности.

Однако дальнейшие исследования показали, что реальным режимом движения загрузки является трехфазный «смешанный» (рис. 1), в котором кроме твердотельной I и зоны несвободного падения II возникает третья зона сдвигового слоя III. На основе результатов эксплуатации помольного оборудования было установлено, что грубое измельчение крупных частиц с целью повышения эффективности процесса, целесообразно осуществлять преимущественно ударным действием при образовании больших импульсов, которые способствуют возникновению в материале предельного упругого деформирования.

А тонкое измельчение малых частиц целесообразно реализовывать преимущественно стиранием и раздавливанием при создании малых импульсов, которые способствуют возникновению пластического деформирования.

Целью исследования было определение рациональных режимов движения загрузки для повышения производительности и энергетической эффективности внешнекамерного многостадийного измельчения в таких мельницах.

Анализ режимов движения загрузки позволил установить характер реализации способов измельчения в барабанных мельницах [1]. Процесс измельчения преимущественно ударным действием осуществляется на границе перехода зоны несвободного падения и зоны сдвигового слоя. Основным процесс измельчения преимущественно стирающим действием осуществляется в верхней части сдвигового слоя в сдвиговом потоке, а преимущественно раздавливанием – в нижней части слоя при замедлении потока.

Кроме того, в нижней части твердотельной зоны могут иметь место локальные центры измельчения частичным раздавливанием (рис. 1).

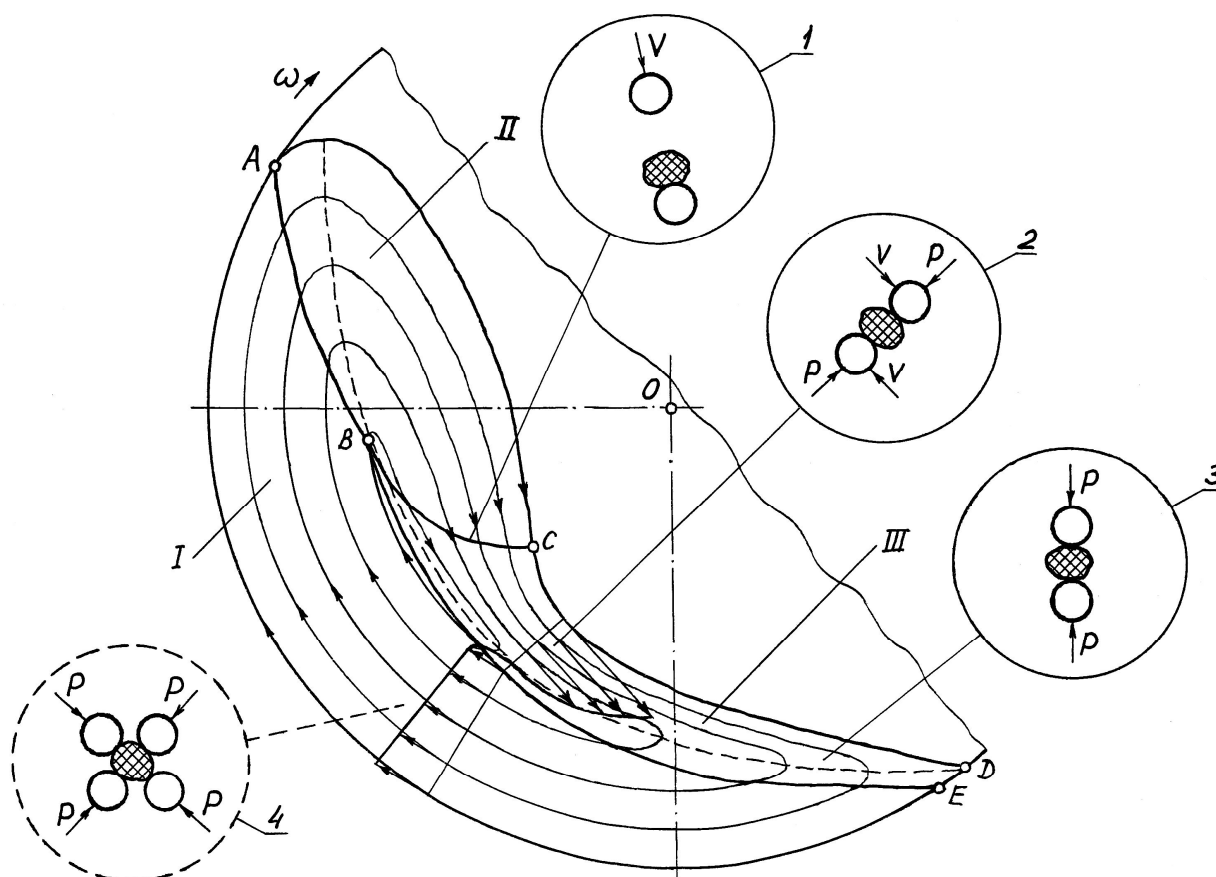


Рис. 1. Реализация способов измельчения в барабанной мельнице

Влияние режимов движения загрузки на процесс помола оценивались безразмерными механическими характеристиками (табл.), где  $m$ ,  $m_6$  и  $m_3$  – масса загрузки, баллистической II и сдвиговой III ее зон, кг;  $t_{ц}$  – длительность цикла движения загрузки, с;  $\omega$  – угловая скорость, 1/с;  $R$  – радиус камеры, м;  $g$  – гравитационное ускорение, м/с<sup>2</sup>;  $V_{6с}$  – средняя скорость на границе II и III зон, м/с;  $V_{3с}$  – средняя сдвиговая скорость нормального сечения в верхней части III зоны, м/с;  $V_{3max}$  – максимальная сдвиговая скорость на свободной поверхности сдвигового слоя, м/с;  $V_0$  – скорость опорной поверхности сдвигового слоя,двигающегося вверх, м/с;  $h$  – толщина сдвигового слоя, м;  $W$  – мнимое суммарное вертикальное ускорение сдвигового слоя м/с<sup>2</sup>;  $M$  – действительный момент сопротивления, Нм;  $M_{0,5max}$  – условный максимальный момент сопротивления при половинном заполнении, Нм.

Численное определение характеристик осуществлялось с помощью аналитико-экспериментального метода с использованием визуального анализа картин движения загрузки, полученных цифровой фотосъемкой.

Для оценки эффективности измельчения при ударном, стирающем и раздавливающем действии мелющих тел на частицы измельчаемого материала были использованы зависимости комплексных параметров от относительной скорости вращения  $\psi_{\omega}$  (рис. 2), где  $d$  – средний размер мелющих тел,  $D$  – диаметр камеры барабана,  $\kappa$  – степень заполнения камеры загрузкой. Рациональные режимы выделены штриховкой.

Было оценено, также, влияние содержания частиц измельчаемого материала в загрузке на повышение эффективности многостадийного измельчения. Производительность помола оценивалась за значением просева через контрольное сито № 008, а энергетическая эффективность – за удельными затратами энергии при получении этого просева.

Численное значение изменения производительности оценивалось соотношениями  $\Pi_m/\Pi_t$ , где  $\Pi_m$  и  $\Pi_t$  – производительность помола для модернизированного и традиционного режимов, а изменения удельных затрат энергии – соотношениями  $E_m/E_t=(N_m/\Pi_m)/(N_t/\Pi_t)$ , где  $E_m$  и  $E_t$  – удельные затраты энергии,  $N_m$  и  $N_t$  – мощности привода для этих режимов.

Моделирование первой стадии грубого помола реализовывалось при  $d/D = 0,02$ ,  $\kappa = 0,45$ , степени заполнения частицами измельчаемого материала промежутков между мелющими телами  $\kappa_{мп} = 0,75$  и 1,  $\psi_{\omega} = 0,95$ .

Моделирование последней стадии тонкого помола – при  $d/D = 0,022$ ,  $\kappa = 0,25$ ,  $\kappa_{мп} = 0,25$  и 0,5,  $\psi_{\omega} = 0,35$ .

Таблица

## Механические характеристики движения загрузки

| Название                              | Обозначение   | Математическое выражение   | Характеризуемые параметры     | Тип            |
|---------------------------------------|---------------|--|-------------------------------|----------------|
| Степень баллистической активации      | $K_{ба}$      | $\frac{m_{\delta}}{m}$   | Измельчение ударным действием | Массовый       |
| Степень сдвиговой активации           | $K_{за}$      | $\frac{m_3}{m}$  | Измельчение истиранием        | Массовый       |
| Степень присоединения                 | $K_{п}$       | $\frac{m - m_{\delta} - m_3}{m}$                                 | Измельчение раздавливанием    | Массовый       |
| Оборачиваемость                       | $K_o$         | $\frac{2\pi}{t_{\psi} \cdot \omega}$                             | Производительность            | Кинематический |
| Форсирование баллистической скорости  | $K_{фб}$      | $\frac{V_{\delta c}}{\sqrt{R \cdot g}}$                          | Измельчение ударным действием | Скоростной     |
| Форсирование сдвиговой скорости       | $K_{фз}$      | $\frac{V_{3c}}{\sqrt{R \cdot g}}$                                | Измельчение раздавливанием    | Скоростной     |
| Градиент сдвиговой скорости           | $K_{г}$       | $\frac{V_{3 max} +  V_0 }{h} \cdot \sqrt{\frac{R}{g}}$           | Измельчение истиранием        | Кинематический |
| Удельная энергия баллистической массы | $E_{\delta}$  | $\frac{V_{\delta c}^2}{R \cdot g}$                               | Измельчение ударным действием | Энергетический |
| Удельная энергия сдвигового слоя      | $E_3$         | $\frac{V_{3c}^2}{R \cdot g}$                                     | Измельчение раздавливанием    | Энергетический |
| Температура среды сдвигового слоя     | $T$           | $\left( \frac{V_{3 max} +  V_0 }{h} \right)^2 \cdot \frac{R}{g}$ | Измельчение истиранием        | Энергетический |
| Динамичность активации                | $K_{д}$       | $\frac{W}{g}$  | Измельчение истиранием        | Динамический   |
| Относительный момент                  | $\psi_{M0,5}$ | $\frac{M}{M_{0,5 max}}$  | Измельчение ударным действием | Силовой        |
| Относительная мощность                | $\psi_{N0,5}$ | $\frac{M \cdot \omega}{M_{0,5 max} \sqrt{\frac{g}{R}}}$          | Производительность            | Энергетический |
| Число Фруда                           | $Fr$          | $\frac{\omega^2 \cdot R}{g}$                                     | Измельчение раздавливанием    | Динамический   |

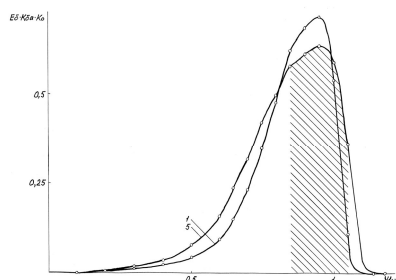
Для традиционного режима принималось  $\psi_{\omega} = 0,75$ . Длительность измельчения составляла 30 минут. Результаты приведены на рис. 3.

Ударное действие  
( $d/D = 0,022$ ,  
волнистая камера)

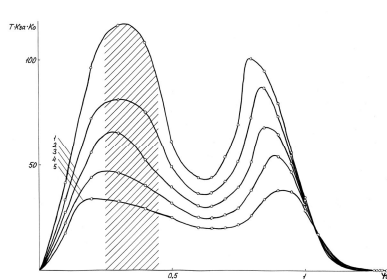
Истирание  
( $d/D = 0,0024$ , гладкая камера)

Раздавливание

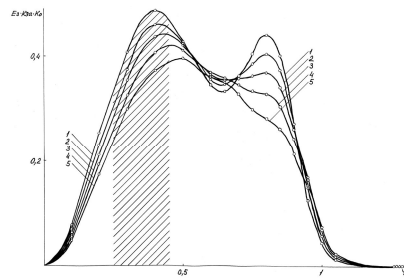
### Условная производительность измельчения



Зависимости  
 $E_6 \cdot K_{6a} \cdot K_0$  от  $\psi_\omega$

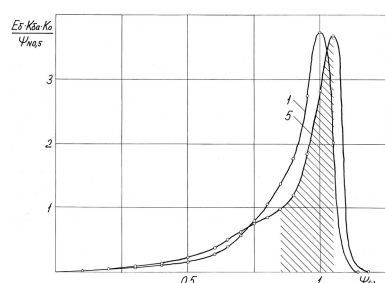


Зависимости  
 $T \cdot K_{3a} \cdot K_0$  от  $\psi_\omega$

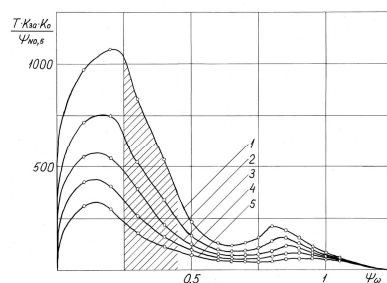


Зависимости  
 $E_3 \cdot K_{3a} \cdot K_0$  от  $\psi_\omega$

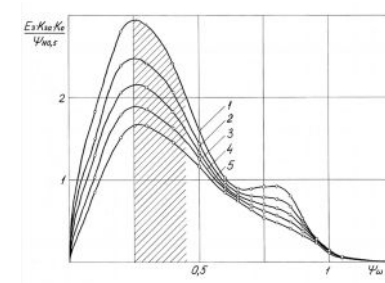
### Условная удельная производительность измельчения



$(E_6 \cdot K_{6a} \cdot K_0) / \psi_{N0.5}$  от  $\psi_\omega$

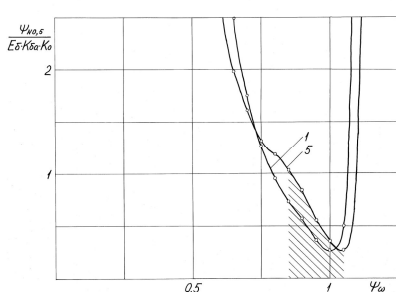


$(T \cdot K_{3a} \cdot K_0) / \psi_{N0.5}$  от  $\psi_\omega$

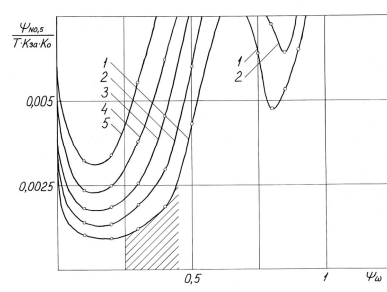


$(E_3 \cdot K_{3a} \cdot K_0) / \psi_{N0.5}$  от  $\psi_\omega$

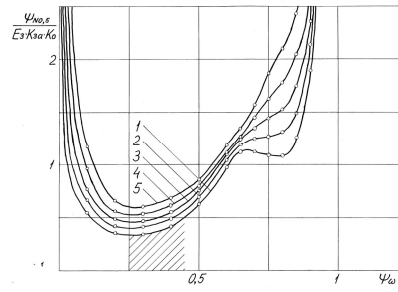
### Условная удельная энергоемкость измельчения



$\psi_{N0.5} / (E_6 \cdot K_{6a} \cdot K_0)$  от  $\psi_\omega$



$\psi_{N0.5} / (T \cdot K_{3a} \cdot K_0)$  от  $\psi_\omega$



$\psi_{N0.5} / (E_3 \cdot K_{3a} \cdot K_0)$  от  $\psi_\omega$

Рис. 2. Комплексные характеристики для оценки эффективности помола  
для 1 –  $\kappa = 0,25$ , 2 –  $\kappa = 0,3$ , 3 –  $\kappa = 0,35$ , 4 –  $\kappa = 0,4$ , 5 –  $\kappa = 0,45$ .

Таким образом, рациональными режимами реализации первой стадии грубого измельчения являются –  $\psi_\omega = 0,85 - 1,05$ ,  $\kappa = 0,45$ ,  $d/D = 0,015 - 0,04$ , а последней стадии тонкого измельчения –  $\psi_\omega = 0,25 - 0,45$ ,  $\kappa = 0,25$ ,  $d/D = 0,002 - 0,01$  [2].

С увеличением содержания материала в загрузке эффективность первой стадии возрастает по производительности и энергоемкости, а с уменьшением содержания – эффективность последней стадии возрастает по энергоемкости.

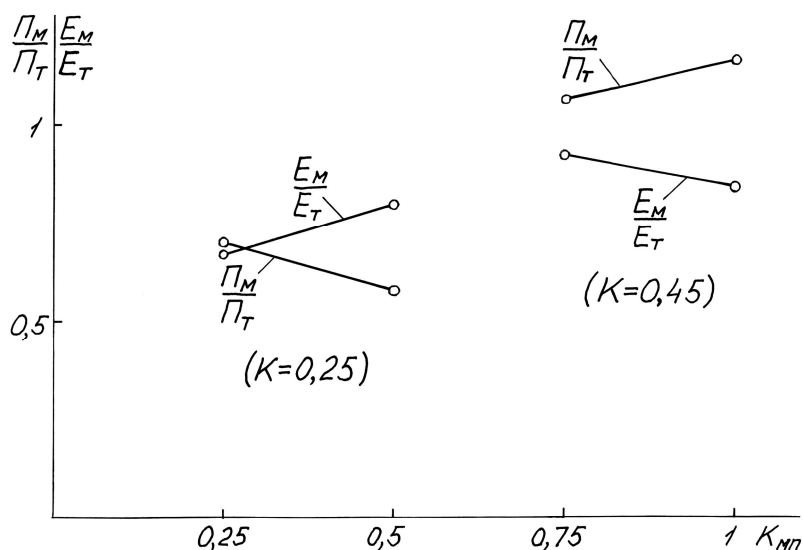


Рис. 3. Зависимости  $\Pi_M/\Pi_T$  и  $E_M/E_T$  для различных  $k$  от  $K_{\text{мп}}$

**Список литературы:** 1. Науменко Ю. В. Основы теории режимів роботи барабанных млинів: монографія / Ю. В. Науменко. – Рівне: Видавництво СПД Зелент О.І., 2009. – 282 с. 2. Науменко Ю. В. Рекомендації до розрахунку, проектування та експлуатації барабанных млинів багатостадійного подрібнення / Ю. В. Науменко. – Рівне: Видавництво СПД Зелент О.І., 2009. – 88 с.

Поступила в редколлегию 20.08.10

УДК 541.183:622.33 + 622.693

**С.Д. БОРУК**, канд. хим. наук, доц., ЧНУ, г. Черновцы, Украина

## ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ УГЛЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПОМОЛА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СУСПЕНЗИОННОГО УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

В статті досліджено вплив природи вихідної вугільної сировини та властивостей дисперсійного середовища на умови подрібнення при отриманні висококонцентрованих вугільних суспензій. Запропоновано технологічний режим отримання рідкого вугільного палива в залежності від ступеня метаморфізму вугілля та складу дисперсійного середовища. Встановлено що наявність у дисперсійному середовищі органічних домішок призводить до підвищення інтенсивності подрібнення частинок дисперсної фази.